

Bezinning op 'verklaren' in een scheikunde_ onderwijs_

situatie

M.J.Vogelezang en H.F. van Sprang
Vakgroep Chemiedidactiek
Rijksuniversiteit te Utrecht

Summary

'To explain' is often understood as a deductive activity based on laws. This is done in a context of philosophy of science but also in a context of science teaching. This article describes two chemistry learning situations where a pupil spontaneously utters a need for an explanation of a certain fact. The teacher understands this question as dissatisfaction with merely a description of empirical data and also as asking for a theoretical point of view by which relations between this data can become visible. In these learning situations '(need for) explanation' is regarded as a necessary phase in the genesis of a theoretical level in chemistry learning, and thereby viewed in a context of science didactics.

Inleiding

Enige tijd geleden heeft De Vos onder de titel "Verklaren in het scheikunde-onderwijs" in twee artikelen (De Vos, 1986a en b) enige gedachten ontvouwd omtrent 'verklaren'. Hij omschrijft verklaren als antwoord geven op een "waardoor-vraag", en noemt, onder verwijzing naar Hempel (1979), drie "elementen" die kenmerkend zijn voor een causale of deductief-wetmatige verklaring: "wetten"; "kenmerken van een situatie"; "een logische redenering". Deze laatste moet laten zien "dat de te verklaren gebeurtenis volgt uit de combinatie van deze wetten en situatiekenmerken". Hij merkt nog op dat 'wet' hier niet alleen doelt op een natuurwet zoals die van Boyle, maar ook op 'bijvoorbeeld de uitspraak dat (...) fenolftaleïne van kleur omslaat tussen pH = 8,3 en pH = 10,0."

Het eerste artikel beëindigde De Vos met een schets van drie manieren om 'verklaren' te onderwijzen. 'Verklaren' heeft daarbij voor hem de betekenis, bepaald door de drie zojuist genoemde 'elementen'. Zelf kiest hij als "taak van het onderwijs (...) bij de leerlingen echte verwondering, en daarmee een authentieke verklaringsbehoefte wakker te roepen." Hij vroeg "lezers die

ervaring hebben met (...) proeven waarmee een authentieke productieve verklaringsbehoefte bij leerlingen kan worden opgeroepen" deze proeven te publiceren.

Hij beschrijft zelf geen concrete, door hem gerealiseerde onderwijssituatie om daarin 'verklaren' aan te wijzen. Door zijn vraag naar "proeven waarmee een authentieke productieve verklaringsbehoefte bij leerlingen kan worden opgeroepen", suggereert hij, o.i. ongewild, dat een proef als zodanig dit zou kunnen, los van de onderwijssituatie waarin zij functioneert.

In het volgende geven wij geen proef maar twee onderwijssituaties weer. Voor de eerste was een van ons (Vogelezang) verantwoordelijk, aan de tweede nam hij zelf deel. Wij menen in deze onderwijssituaties een "authentieke verklaringsbehoefte" in enige uitspraken van een leerlinge aan te kunnen wijzen. Naar aanleiding daarvan willen wij ons bezinnen op de betekenis die 'verklaren' in deze onderwijssituaties voor ons heeft. Hoewel wij scheikunde-onderwijssituaties bespreken, menen wij dat deze bezinning niet hiertoe beperkt hoeft te blijven, maar ruimere toepasbaarheid bezit.

Een voorbeeld van een "authentieke verklaringsbehoefte"

Hieronder volgt een gedeelte van een gesprek tussen drie meisjes uit een groepje van vier in een 4-atheneumklas (de namen zijn gefingeerd). Zij hebben zelf, zonder gebruik te maken van een molecuul-atoommodel, kwalitatieve aspecten van chemische reacties aan een verscheidenheid van verschijnselen leren beschrijven (Ten Voorde, 1977). Aan de hand van beschreven proeven rond het voegen van een overmaat ijzerpoeder bij broomwater resp. overmaat broomwater bij ijzerpoeder leerden ze meer dan een geoxideerde toestand van het element ijzer kwalitatief kennen. Nu zijn ze bezig hun reactiebegrip uit te breiden met kwantitatieve eigenschappen. In dat kader hebben ze in voorgaande lessen vastgesteld dat massaverhoudingsgetallen van vijf enkelvoudige stoffen bij chemische reacties tot een reeks zijn te combineren. Deze reeks luidt:

$m(\text{H}) : m(\text{O}) : m(\text{Mg}) : m(\text{Zn}) : m(\text{Cl}) = 1 : 7,94 : 12,1 : 32,4 : 35,2$
Tijdens de les waarin dit protocol is opgenomen, hebben ze de massaverhouding uitgerekend tussen koper en zuurstof in¹ rood en zwart koperoxide. Dit is gedaan op grond van de massa's van de hoeveelheden van deze oxides en van de hoeveelheden koper die hieruit ontstaan bij reductie met een overmaat waterstof volgens in hun boek beschreven proeven. De massaverhouding tussen koper en chloor in wit en bruin koperchloride was in het boek gegeven. Naar aanleiding van deze twee paren massaverhoudingsgetallen ontwikkelt zich het gesprek dat in protocol I is weergegeven (zie ook noot 2).

Protokol 1

(I = Ineke; N = Nicole; T = Toby)

- 01 I bij 1d heb je natuurlijk ook twee verschillende ... eh ... gaat het over koperzuurstof he ... twee verschillende stoffen ...
(gezucht, noteren van huiswerk)
- I omdat er twee verschillende stoffen zijn ... had je bij 1d ook, daar had
- 05 je ook twee verschillende massaverhoudingen. hier heb je ook twee verschillende massaverhoudingen (ond) ... omdat je bij koper heb je dat eh
- T nee maar waarom krijg je, geeft ie, bij die twee verschillende stoffen terwijl je toch van hetzelfde zelfde uitgaat
- I nee hier ga je van een eh wit en een donkerblauw bruin chloride uit
- 10 +T ja je gaat in beide gevallen van koper met een chloride uit ... en daar krijg je hier (?) twee verschillende stoffen van
- ? moeilijk
- N we hebben nog vijf minuten ...
- T ik vind het maar gek ...
- 15 ? (ond)
- ? nee
- I nee ik vind het juist logisch daar (?) precies hetzelfde als bij 1d
- T ja maar waarom is het bij 1d dan zo?
- I ja omdat het ook twee, bij voorbeeld een wit en een donkerbruin (ond)
- 20 T ja maar waarom, waarom krijg je dan die witte? je doet bij beide chloor en koper bij elkaar
- I ja hier wordt gegeven dat er twee verschillende ko chloriden van koper bestaan, nou, laten er dan ook twee verschillende oxiden van koper bestaan
- 25 +T dat is ... onzin ...
- I kan toch wel ...
- T ja maar waarom, waarom krijg je die twee verschillende stoffen dan
- I ja dat (ond) weet ik toch niet ... moet je proeven gaan doen
(ze zijn nu niet meer ter zake bezig en omdat de les bijna is
- 30 afgelopen, gaan ze opruimen)

Voor Toby is het een probleem hoe je uitgaande van dezelfde stoffen ("van hetzelfde uitgaat", 08; "je gaat in beide gevallen van koper met een chloride uit", 10; "je doet bij beide chloor en koper bij elkaar", 20-21) twee verschillende reactieproducten kunt verkrijgen ("waarom krijg je, geeft ie, bij die twee verschillende stoffen", 07; "en daar krijg je hier (?) twee verschillende stoffen van", 10-11; "ja maar waarom, waarom krijg je die twee verschillende stoffen dan", 27). Haar woordgebruik "van hetzelfde uitgaat" (08) en "gaat (...) van (...) uit" (10) spreekt Ineke echter anders aan. Ineke vat het op als betrokken op de ontstane (samengestelde) stoffen (09, 19, 22-24), terwijl Toby op de (enkelvoudige) uitgangsstoffen koper, chloor en zuurstof let. Voor Ineke heeft Toby's vraag weinig zin, zij neemt het bestaan van de twee paren stoffen als gegeven, krachtig weergegeven in haar uitspraak: "nee ik vind het juist logisch daar (?) precies hetzelfde als bij Id" (17). Ook in 22-24 spreekt ze dit uit: "ja hier wordt gegeven dat er twee verschillende ko chloriden van koper bestaan, nou, laten er dan ook twee verschillende oxiden van koper bestaan". Ineke schrijft het bestaan van de twee paren stoffen dus toe aan koper. Dat zei ze al in 06: "omdat je bij koper heb je dat eh".

We kunnen de combinatie van Inekes uitspraken in 17, 19 en 22-24 zien als een soort redenering. Zij bouwt een argumentatie op ("precies hetzelfde als"; "ja omdat"; "hier wordt gegeven") die uitmondt in een conclusie. Wij merken in haar 'redenering' echter geen deductief-wetmatig schema op en vragen ons af of dit het gevolg is van het ontbreken van een bepaalde vorm of dat er nog meer aan de hand is.

Bij 'vorm' denken we aan goedlopende volzinnen en aan de aanwezigheid van: 'wet', 'situatiekenmerk' en 'logische redenering'. We constateren dat deze vorm in de weergegeven onderwijssituatie niet is aan te wijzen. Dit is in het algemeen onze ervaring met op geluidsband geregistreerde gesprekken waarin de deelnemers samen naar begripsverheldering zoeken. Zelden zal een uitspraak te kwalificeren zijn als een volzin. En de aspecten van een deductief-wetmatige redenering zullen o.i. zeker niet voorkomen in een gesprek waar tastenderwijze wordt gezocht naar een verklaring (Toby's herhaalde "waarom?"). Ook in wetenschappelijk werk is zulk een redenering veelal een constructie achteraf³.

Wij kunnen echter, achteraf, wel een deductief-wetmatig schema construeren waar Inekes 'conclusie' (23-24) als sluitstuk uit te voorschijn komt. In dat schema gebruiken wij voor 'wet' de letter W, voor 'situatiekenmerk' de S en voor 'logische redenering' de L. Dit schema is weergegeven in figuur 1.

- W: als koper met een andere enkelvoudige stof reageert, kunnen twee verschillende samengestelde stoffen ontstaan.
- S1: koper reageert met chloor resp. zuurstof.
- S2: chloor en zuurstof zijn enkelvoudige stoffen.
- L: als koper met chloor reageert, kunnen twee verschillende stoffen koperchloride ontstaan; evenzo met zuurstof twee koperoxides.

Fig.1 Deductief-wetmatige 'afleiding' van Inekes' conclusie (23-24)

Dit geconstrueerde schema geeft echter niet onze interpretatie weer van Inekes uitspraken in 17, 19 en 22-24. Wij menen dat nog een ander verschil tussen deze uitspraken en het schema uit figuur 1 is aan te wijzen dan de uiterlijke vorm. Ineke 'redeneert' o.i. in protocol 1 niet deductief-verklarend, maar inductief generaliserend. Ze is a.h.w. bezig de hier door ons gegeven 'wet' te formuleren op grond van twee gevallen die ze leerde kennen. Deze waren de bron voor haar concluderende uitspraak: "bij koper heb je dat" (06).

Misschien zien veel chemici dit laatste amper als conclusie omdat voor hen koper immers één- of tweewaardig is. Dit 'één-of-tweewaardig-zijn' heeft het karakter van een 'feit' gekregen, waarbij de verschijnselen waaruit dit 'feit' als conclusie te voorschijn kwam, naar de achtergrond zijn verschoven. En die staan voor deze meisjes juist op de voorgrond. De interpretatie 'koper is één- of tweewaardig' (in hun taal 'het element koper heeft twee geoxideerde toestanden') berust mede op het toeschrijven van de twee koperoxides en de twee koperchlorides aan het element koper en niet aan zuurstof of chloor. En o.i. komt uit de volgende uitspraak van Ineke naar voren dat zij dit laatste goed aanvoelde: "had je bij 1d ook, daar had je ook twee verschillende massaverhoudingen, hier heb je ook twee verschillende massaverhoudingen (ond) omdat je bij koper heb je dat eh" (04-06).

Toby bestrijdt in dit gespreksfragment allerminst dat er twee zo nauw verwante paren stoffen bestaan (zie 10-11). Zij verwondert zich daar echter over (14) en vraagt naar een reden ("waarom": 07, 18, 20,27). Het laatste "waarom" volgt op Inekes 'conclusie' (23-24). Toby is hiervan niet onder de indruk ("onzin", 25). Wij interpreteren dit "onzin" als een ondersteuning van onze mening dat Toby met haar herhaald "waarom" naar een logische samenhang vraagt tussen de door Ineke aangedragen feiten (twee koperchlorides en twee koperoxides). Ineke "bij koper heb je dat" (06) ervaart zij kennelijk niet als zo'n logische samenhang: "nee maar

waarom ..." (07). In de gegeven onderwijssituatie zouden wij hier van "een authentieke verklaringsbehoefte" willen spreken.

Verklaren?

De Vos schrijft in zijn eerste artikel dat sommige verklaringen "wel alle elementen van het schema bevatten maar desondanks een zeer onbevredigende indruk maken. Zo kunnen we het feit dat hexaan slecht oplost in water verklaren door te stellen dat alle koolwaterstoffen slecht oplossen in water (een "wet") en dat het hexaan dat wij probeerden op te lossen, tot de groep van de koolwaterstoffen behoort (situatiekenmerk)." Zijn redenering is formeel weergegeven in figuur 2.

W: koolwaterstoffen lossen slecht op in water.

S: hexaan is een koolwaterstof.

L: hexaan lost dus slecht op in water.

Fig.2 De slechte oplosbaarheid van hexaan in water

De Vos gaat aldus verder: "We krijgen dan een verklaring die weliswaar formeel voldoet aan het schema maar die toch als verklaring moeilijk te aanvaarden is. De moeilijkheid is in dit geval dat er een nieuwe verklaringsvraag opdoemt: hoe komt het dat koolwaterstoffen slecht oplossen in water?"

De situaties waaruit de figuren 1 en 2 resulteerden, verschillen nogal van elkaar. Figuur 1 steunt op een concrete onderwijssituatie, al hebben we de door een leerlinge uitgesproken 'redenering' omgevormd tot een deductief-wetmatige. Figuur 2 heeft betrekking op een redenering die is opgeschreven door een auteur zonder dat er van een onderwijssituatie sprake was.

Een overeenkomst tussen de figuren is vanzelfsprekend dat beide een deductief-wetmatig schema bevatten. Maar de overeenkomst gaat o.i. verder. De twee redeneringen zijn samen te vatten tot: het in de 'wet' verwoorde 'soort'-kenmerk geldt ook voor een willekeurige vertegenwoordiger van deze 'soort'. Wetenschappelijk gezegd: het bijzondere wordt onder het algemene gesubsumeerd. Dat is zeker een vorm van logisch redeneren, maar net als De Vos hebben wij moeite hier van 'verklaren' te spreken. De conclusie voegt als het ware geen nieuwe kennis toe. Wie zal hierop reageren met: ja, nu begrijp ik het? Zal in het hexaan-geval niet hoogstens de reactie komen: oh, nu weet ik dat deze wet en dit situatiekenmerk gelden?

We merkten reeds op dat Ineke als het ware bezig is de 'wet' uit figuur 1 te formuleren. Uit twee gevallen besluit zij tot een

algemene uitspraak ("bij koper heb je dat", 06) Zo'n generaliserende inductie willen we eveneens niet als verklaren kwalificeren.

Verklaren

We schreven dat Toby o.i. met een andersoortige vraagstelling bezig is dan Ineke. Toby vraagt naar het "waarom", naar een verklaring van Inekes 'wetmatige' uitspraak dat uit koper en een andere enkelvoudige stof twee verschillende samengestelde stoffen kunnen ontstaan. Een verklaring komt aan de orde als in de volgende les de docent hun werk met ze komt bespreken. Daarbij ontstaat een gesprekje dat is weergegeven in protocol 2. Hierin hebben enkele symbolen een speciale betekenis: 0, + resp. - rechts boven een elementsymbool stelt de grondtoestand, een geoxideerde resp. een gereduceerde toestand van dit element voor; de twee geoxideerde toestanden van koper worden afgebeeld als Cu^+ en Cu^{2+} (te lezen als geoxideerd (geoxideerd koper)).

In dit gesprek sluit V met "gek he dat je voor koper twee getallen vindt" (01) aan bij de tekst van de opdracht die luidt: "Bereken twee verhoudingsgetallen waarmee koper t.o.v. chloor in de reeks van hoofdstuk 2 kan worden geplaatst." De massaverhouding tussen koper en chloor in wit en bruin koperchloride was, als reeds gezegd, in het boek gegeven⁴.

Het verschil in gerichtheid tussen Toby en Ineke treedt hier weer naar voren in regel 12, 14. Terwijl Ineke de twee koperchlorides nog steeds als gegeven neemt ("want het is een wit en een donkerbruin" 12), vraagt Toby opnieuw naar het "waarom" (14). V omschrijft voor hen de twee massaverhoudingsgetallen als verschillende kwantitatieve reactiemogelijkheden van koper (15-16, 18). Ineke lijkt zich hierbij aan te sluiten (19-20). Ze geeft hierbij niet aan waarin deze reacties verschillen. Via zijn vraagstelling draagt V het kader van redoxreacties aan: twee elementen veranderen van toestand. Dit doet hij door in plaats van "koper", zoals in regel 15 en 23, " Cu^0 " te zeggen (24). In deze context antwoordt Ineke (26). Hij stelt ze nu voor een probleem t.a.v. de 'naamgeving' (27). In het antwoord (31) komt een tweede geoxideerde toestand bij het element koper naar voren. Nu zijn de twee stoffen behalve met de massaverhoudingsgetallen ook met een formule onderscheidend te 'benoemen'.

Al heeft in protocol 2 de docent meegesproken, een deductief-wetmatige verklaring is hier evenmin als in protocol 1 te vinden. Toch zeiden we even eerder dat naar onze mening in protocol 2 wel een verklaring aan de orde komt. Dit zullen we nu proberen te verduidelijken.

De docent reikt in protocol 2 vragenderwijs (23-30) een nieuw gezichtspunt aan: het element koper kan vanuit de grondtoestand

Protokol 2

(I = Ineke; N = Nicole; T = Toby; V = Vogelezang)

- 01 V gek he dat je voor koper twee getallen vindt en voor ... die
getallen* in hoofdstuk 2 maar één
- T ja ...
- N? ooh
- 05 I? ja, is zo
- V ja raar is dat ... (gelach)
- ? ja ...
- V kunnen jullie een reden geven, zeggen van hee dan moet
- ? ik snap het niet (zacht)
- 10 V ik zou dat begrijpen als dat eh ... als er dit aan de hand was,
zouden jullie daar een reden voor kunnen geven?
- I want het is een wit en een donkerbruin
- V ja okay
- T+N ja maar waarom
- 15 V waarom? (even stilte) dus koper kan met verschillende hoeveelheden
chloor reageren he
- ?+? ja
- V ja ... bij de ene reageert het met meer chloor dan bij de andere
- I dus eh ... ja dan zijn er misschien meer mogelijkheden dat er
- 20 een reactie optreedt
- V ja
- ? wat zeg je?
- V okay ... en eh ... wat zeg je dan, wat gebeurt er dan met
het koper als het reageert met chloor? ... Cu° , reageert
- 25 met chloor, wat ontstaat er dan?
- I Cu^+Cl^- ...
- V kun je die andere stof dan ook Cu^+Cl^- noemen?
- T+N nee
- I ja dat kan niet
- 30 V nee, hoe zou je die dan willen noemen?
- I? Cu^{+} (aarzelend, zacht)

* V bedoelt hier de verhoudingsgetallen die in de tekst voor protokol 1
staan vermeld

op twee verschillende manieren worden geoxideerd. (In dit stadium blijft het bij dit kwalitatieve gezichtspunt; enige hoofdstukken verder wordt $\text{Cu}^+ : \text{Cu}^{1+}$ en $\text{Cu}^{2+} : \text{Cu}_2^{2+}$). De docent zegt niet zoiets als: het element koper kent twee geoxideerde toestanden Cu^+ en Cu^{2+} , wat kun je daaruit afleiden? Nee, hij 'dwingt' de leerlingen a.h.w. door zijn vraagstelling (27) zelf de conclusie te trekken dat bij koper iets dergelijks aan de hand zal zijn als zij bij ijzer eenmaal tegen kwamen. We kunnen zeggen dat hij hier met hen een stapje verder gaat op de weg die kan leiden tot het formuleren van een empirisch gefundeerde 'wet': aan elementen moet dikwijls meer dan één geoxideerde toestand worden toegekend.

Het nieuwe gezichtspunt en de regel waarvan zojuist sprake was, plaatsen wij in een theoretisch kader omdat ze samenhangen met het begrip 'element' dat we als een theoretische term zien (Ten Voorde, 1984). We interpreteren de antwoorden 26 en 31 echter niet als een reeds volledig meespreken in dit theoretische kader, maar meer als een intuïtief vermoeden dat de docent die uitspraken wil horen. Maar ook zulke uitspraken kunnen deel uitmaken van de vele stappen die leerlingen moeten zetten om termen als 'element', 'oxidatietoestand van een element', 'redoxkoppel' te gaan ervaren als begrippen waarmee een logisch verband tussen beschreven verschijnselen kan worden gelegd.

Omdat de docent erop gericht is zijn leerlingen een kwalitatief nieuw, want theoretisch gezichtspunt in te laten nemen, zeiden wij dat in protocol 2 een verklaring aan de orde komt⁵. Verklaren-in-een-onderwijssituatie koppelen we dus los van het kunnen aanwijzen van een deductief-wetmatige-redenering, maar vast aan de aard van de begripsvorming die wordt nagestreefd: is aan te wijzen dat verschijnselen in een theoretisch kader worden geplaatst.

Begripsvorming bij een mens heeft een onrationeel karakter⁶. Dat vinden wij bevestigd door de twee geprotocolleerde gesprekken waar in zekere mate begripsvorming bij de gespreksdeelnemers plaatsvindt bij het tastenderwijs verkennen van een nieuw gebied. In zo'n situatie is het zinloos te vragen naar een deductief-wetmatige-verklaring. Want enerzijds is nog geen "affe, kant en klaar voorhanden theorie"³ aanwezig waaruit het betreffende 'feit' zou kunnen worden verklaard. In de beschreven onderwijssituatie is men juist samen op weg naar zo'n theorie. En anderzijds wordt in een deductief-wetmatige verklaring volstrekt afgezien van concrete, menselijke omstandigheden waarin die verklaring zou kunnen functioneren. Voor een verstaan van de beschreven onderwijssituaties zijn o.i. daarentegen die concrete, menselijke omstandigheden wezenlijk.

Verhandelingen over deductief-wetmatig-redeneren waarin wordt afgezien van theorie-genese⁷ willen wij in een wetenschapsfilo-

sofisch kader plaatsen, het beschrijven en verstaan van begripsontwikkeling bij theorie-genese in onderwijssituaties in een (vak)didactisch kader.

De Vos zegt aan het begin van zijn eerste artikel: "In de wetenschapsfilosofie is verklaren het geven van een antwoord op een vraag naar het waarom (of beter: waardoor) van een gebeurtenis, een verschijnsel of een toestand." Vanuit dit gezichtspunt moet het antwoord, zoals het in figuur 2 staat, op de vraag "waardoor lost hexaan slecht op in water?" wel degelijk een verklaring worden genoemd. Maar we zagen al dat De Vos en wij hierbij toch bedenkingen hebben. De onze baseerden we mede op een analyse van op geluidsband vastgelegde gesprekken in twee onderwijssituaties. Naar onze mening is het van wezenlijk belang bij een gedachtenwisseling over "verklaren in het scheikunde-onderwijs" expliciet te stellen vanuit welk gezichtspunt de problematiek wordt benaderd. Bij voorbeeld vanuit een rationele reconstructie³ van solide wetenschappelijke kennis, of vanuit de lerende mens die bezig is, in samenspraak met anderen, zijn begrippen te vormen. In het eerste geval is er een gerede kans dat een discussie ontstaat op wetenschapsfilosofisch, in het tweede geval een op vakdidactisch terrein. Wij kiezen voor het laatste.

Noten:

1. De combinatie van de drie woorden 'koper', 'zuurstof' en 'in' die ook in de tekst van de opdrachten staat, is bedoeld als signaal dat 'koper' en 'zuurstof' gelezen moeten worden in de betekenis 'element'.
2. De volgende opmerkingen kunnen voor het begrijpen van het gesprek van belang zijn:
 - 1d in regel 01, 04, 17, 18 slaat op opgave 1d uit het boek waar zij de samenstelling van de beide koperoxiden hebben berekend;
 - +T in regel 10 en 25 betekent dat Toby en Ineke daar tegelijk spreken;
 - (ond) b.v. in regel 06 wil zeggen dat het gezegde niet te verstaan is;
 - (?) in regel 11 duidt aan dat wij er niet zeker van zijn dat Toby inderdaad "hier" zegt;
 - duidt op een wat langere pauze in het gesprek;
 - de uitspraak die Toby in regel 10-11 doet ("je gaat in beide gevallen van koper met een chloride uit") kan voortkomen uit het woordgebruik van de betreffende opdracht. Die luidt namelijk:
"Men kent twee verschillende chloriden van koper, een wit en

- een donkerbruin. De massaverhouding koper : chloor in het witte is 1,79 : 1, in het donkerbruin 0,895 : 1."
3. Zie bijvoorbeeld Koningsveld (1976). Op bladzijde 59 zegt hij o.a.:
 "De rationele reconstructie of logische analyse houdt twee dingen in:
 - a. doordat het een reconstructie is, beroept men zich op affe, kant en klaar voorhanden theorieën (bijvoorbeeld een gerenommeerde theorie als de klassieke mechanica);
 - b. doordat die reconstructie zich op de logica of rationaliteit van wetenschap richt, blijven psychologische, historische, e.d. factoren (...) buiten beschouwing".
 4. Dat deze twee verschillende massaverhoudingen aan koper worden toegekend en niet aan chloor of aan beide, werd in dit onderwijs dus niet geïmpliciteerd.
 5. De vraag of de gespreksvoering van de docent als goed of als slecht geslaagd is te kwalificeren, achten wij in het kader van dit artikel irrelevant. Bovendien zou voor een beantwoording de rest van het onderwijsgesprek ook bestudeerd moeten worden.
 6. Koningsveld (1976) bespreekt op bladzijde 139 'het onrationele karakter van begripsvorming'. We lezen:

"In de eerste plaats is het duidelijk dat begripsvorming niet langs logische lijnen verloopt. In logisch positivistisch georiënteerde literatuur (bijvoorbeeld in Hempels bekende boekje "Filosofie der Natuurwetenschappen" treft men onder het hoofd 'begripsvorming' wel vaak een definitie aan en daarmee wordt de indruk gewekt dat begripsvorming neerkomt op het definiëren van de grote massa van onze begrippen in een beperkt aantal primitieve begrippen. Dit definiëren vertoont dan een logisch patroon. Maar dan is louter een formeel aspect van de begripsvorming aan de orde en niet meer de inhoudelijke kant die ik hier naar voren wil halen.

In de tweede plaats kan men ook niet zeggen dat begripsvorming op feiten is gebaseerd, want de 'feiten', die het uitgangspunt zouden moeten vormen, komen zélf pas tot stand in dat proces van begripsvorming. Dit ontbreken van een logica en een feitenbasis geeft het begripsvormend onderzoek een onrationeel karakter: het is de creatieve mens - overigens niet op zijn eentje zoals in paragraaf 2 zal blijken - die op het aller-elementairste niveau met vallen en opstaan zijn begrippen vormt en daarin zijn werkelijkheid realiseert." Pas daarna is een uiteen rafelen van begrip en werkelijkheid mogelijk en dus ook een scheiding tussen

subject en object. Van origine horen ze echter bij elkaar!"

7. In het kader van een bespreking van de z.g. 'empirische cyclus'
 - de wetenschappelijke methode zou bestaan uit inductie, deductie en verificatie - lezen we bij
 - Koningsveld (1976) op bladzijde 65: '(N.B. met 'theorievorming' wordt steeds de rationeel gereconstrueerde theorievorming bedoeld en niet de feitelijke genese van een theorie: de historisch-feitelijke kwestie is in een rationele reconstructie immers niet van belang)';
 - Van Peursen (1980) bladzijde 68:

"In de meeste boeken over de filosofie van de wetenschappen wordt een scherp onderscheid gemaakt tussen het proces dat leidt tot het opstellen van een hypothese (heuristiek, context of discovery) en het proces dat een hypothese moet rechtvaardigen (canon of validation, context of justification). Alleen het laatstgenoemde rekent men dan tot de wetenschap, het eerstgenoemde valt daarbuiten en hoort tot de psychologie van de onderzoeker. Zoals reeds in het eerste hoofdstuk werd aangekondigd zal verderop in dit boek deze scheiding betwist worden. Maar op dit moment is het goed erop te wijzen dat vele schrijvers, zoals E.Nagel, C.G.Hempel, K.R.Popper dit onderscheid maken en de wetenschap louter zien als proces van rechtvaardiging, dat zelf weer bestaat uit logische procedures (afleidingen, argumentaties) en uit toetsing aan de feiten."

Literatuur

- Hempel, C.G. **Filosofie van de natuurwetenschappen**, Utrecht/-Antwerpen: Het Spectrum, (Aula 453; 4e druk), 1979.
- Koningsveld, H. **Het verschijnsel wetenschap**, Meppel: Boom, 1976.
- Peursen, C.A.van. **De opbouw van de Wetenschap**, Meppel: Boom, 1980.
- Voorde, H.H. ten. **Verwoorden en Verstaan**. (dissertatie). 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij, 1977.
- Voorde, H.H. ten. Der chemische Elementbegriff als Ergebnis eines Wechsels in der Betrachtungsweise, **Chimica Didactica**, 10, 99-116, 1984.
- Vos, W.de. Verklaren in het scheikunde-onderwijs, **NVON-maandblad**, 11, 8/9, 34-37, 1986a.
- Vos, W.de. Verklaren in het scheikunde-onderwijs (2), **NVON-maandblad** 11, 11, 18-20, 1986b.